

ОБ ОДНОРОДНЫХ КРАЕВЫХ ЗАДАЧАХ НА УРАВНЕНИЯХ МАКСВЕЛЛА

В.Ф. Барина, Ю.В. Раевская, Л.Г. Рудоясова

(Нижний Новгород, Нижегородский государственный технический университет
им. Р.Е. Алексеева, physics@nntu.nnov.ru)

ON HOMOGENEOUS BOUNDARY PROBLEMS IN MAXWELL'S EQUATIONS

V.F. Barinova, Yu.V. Raevskaya, L.G. Rudoyasova

В принципе любая краевая задача о распространении собственных волн в направляющих электродинамических структурах является векторной, то есть связана с решением векторных уравнений Максвелла. Однако во многих случаях векторную задачу удастся свести к скалярной относительно независимых скалярных вспомогательных функций, удовлетворяющих уравнению Гельмгольца и физическим граничным условиям: на ограничивающих направляющую (колебательную) структуру поверхностях; на бесконечности, если структура открытая; на границах раздела сред, образующих структуру. Сведение векторной краевой задачи к скалярной обычно называют разделением уравнений Максвелла.

Метод разделения уравнений Максвелла позволяет существенным образом упростить процесс нахождения векторов \vec{E} и \vec{H} , когда ограничивающие поверхности и границы раздела сред, образующих электродинамическую структуру, являются координатными в одной из ортогональных криволинейных систем координат, в которых уравнение Гельмгольца допускает разделение переменных.

Показывается, что для волновода с однородными сферически симметричными слоями можно строго сформулировать скалярные краевые задачи. При неоднородных средах, образующих направляющую структуру это можно сделать лишь в отдельных частных случаях, для определенного класса волн. В частности, поскольку тропосферный слой, окружающий Землю, является в принципе неоднородным, наряду с вариантом двухслойного сферического волновода, образованного однородными средами, можно рассматривать скалярную задачу об исследовании сферического волновода с неоднородным внешним слоем, когда электромагнитное поле имеет угловую симметрию.

АЗИМУТАЛЬНО-СИММЕТРИЧНЫЕ КОМПЛЕКСНЫЕ ВОЛНЫ ОТКРЫТОГО СФЕРИЧЕСКОГО ВОЛНОВОДА

Н.А. Новоселова, Ю.В. Раевская, Л.Г. Рудоясова

(Нижний Новгород, Нижегородский государственный технический университет
им. Р.Е. Алексеева, physics@nntu.nnov.ru)

AZIMUTHAL-SYMMETRICAL COMPLEX WAVES OF OPENED SPHERICAL WAVEGUIDE

N.A. Novoselova, Yu.V. Raevskaya, L.G. Rudoyasova

В общем случае тропосферный волновод можно рассматривать как открытый слоистый сферический волновод. Краевая задача, описывающая волны такого волновода, является несамосопряженной. В том случае, когда среды, образующие волновод, являются диссипативными, несамосопряженность краевой задачи следует из нетождественности дифференциальных уравнений прямой и сопряженной задач. В том случае, когда параметры ε и μ сред, образующих волновод, являются действительными величинами, несамосопряженность краевой задачи является следствием несовпадения числа граничных условий прямой и сопряженной задач. При этом в случае азимутальной симметрии поля такое несовпадение получается, если не накладывать на решение задачи нулевое условие на бесконечности.

Краевые задачи, рассматриваемые в настоящем докладе, являются основой для решения проблемы исследования спектра комплексных волн тропосферных волноводов. Различные виды комплексных волн составляют значительную часть спектров всех направляющих структур, описываемых несамосопряженными краевыми задачами, и оказывают существенное влияние на работу этих структур. Рассматриваемый в докладе двухслойный сферический волновод является математической моделью тропосферного волновода, на основе которой производится исследование особенностей волн, распространяющихся вдоль земной поверхности. Показывается, что в таком волноводе могут распространяться несобственные комплексные волны, относящиеся к классу вытекающих.

КРУГЛЫЙ ФЕРРИТОВЫЙ ВОЛНОВОД С АНИЗОТРОПНО ПРОВОДЯЩЕЙ РЕЗИСТИВНОЙ ПЛЕНКОЙ НА ПОВЕРХНОСТИ

С.В. Иванов, А.В. Назаров, Е.А. Попов

(Нижний Новгород, Нижегородский государственный технический университет
им. Р.Е. Алексеева, physics@nntu.nnov.ru)

A CIRCULAR FERRITE WAVEGUIDE WITH THE ANISOTROPICALLY CONDUCTING RESISTIVE FILM ON THE SURFACE

S.V. Ivanov, A.V. Nazarov, E.A. Popov

Круглый ферритовый волновод (КФВ) с анизотропно проводящей резистивной пленкой на поверхности представляет собой цилиндрический продольно намагниченный ферритовый стержень радиуса a с нанесенной на его поверхность тонкой резистивной спиралью. Угол напыления спирали - ψ . Волновод находится в поперечно неограниченной изотропной диэлектрической среде.

Для решения задачи о распространении электромагнитных волн вдоль исследуемой направляющей структуры используется модель спирально проводящего цилиндра. Данная модель позволяет при достаточно малом шаге спирали $d \ll \lambda$, где λ – длина волны, заменить спирально проводящую поверхность на сплошной цилиндр с анизотропной проводимостью. По такому цилиндру ток протекает вдоль витков спирали и не может протекать в направлении, перпендикулярном их плоскости.

Электродинамический анализ структуры осуществляется на основе метода частичных областей. Поля в ферритовой области записываются с использованием метода укороченных дифференциальных уравнений [1].

При толщине резистивной пленки $\Delta \ll \delta$, где δ – толщина скин-слоя ее материала, для составления дисперсионного уравнения волн рассматриваемого волновода можно использовать метод поверхностного тока [2]. В этом случае граничные условия при $r = a$ будут иметь вид:

$$\begin{aligned} E_{z1} &= E_{z2}, \\ E_{\varphi1} &= E_{\varphi2}, \\ H_{z1} \sin \psi + H_{\varphi1} \cos \psi &= H_{z2} \sin \psi + H_{\varphi2} \cos \psi, \\ (H_{z1} - H_{z2}) \cos \psi - (H_{\varphi1} - H_{\varphi2}) \sin \psi &= \Delta \sigma E_{z1} \sin \psi + \Delta \sigma E_{\varphi1} \cos \psi, \end{aligned}$$

где $\Delta \sigma$ – поверхностная проводимость пленки. В результате реализации граничных условий получается система четырех линейных однородных алгебраических уравнений (СЛАУ) относительно неизвестных амплитудных коэффициентов в представлениях полей. Условие нетривиальности решений СЛАУ (равенство нулю ее главного определителя) дает дисперсионное уравнение волн КФВ с анизотропно проводящей резистивной пленкой на поверхности.